

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 26 MAY 2004
WIPO PCT

Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 103 16 929.6
Anmeldetag: 07. April 2003
Anmelder/Inhaber: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung eV, 80636 München/DE; Inco Limited, Toronto, Ontario/CA.
Bezeichnung: Verfahren zur Herstellung eines offenporigen Formkörpers ein solcher Formkörper sowie dessen Verwendung
IPC: B 22 F, C 22 C, B 01 D

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 22. April 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident

Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Faust".
Faust

FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT...e.V.

03F42604-EPW

Patentansprüche

5

1. Verfahren zur Herstellung eines offenporigen Formkörpers, der aus Nickel oder Eisen und mindestens einem weiteren Metall, die Mischkristalle oder intermetallische Phasen bilden, gebildet ist oder auf dessen Oberfläche solche Mischkristalle oder intermetallische Phasen ausgebildet sind,

10

bei dem ein offenporiger aus Nickel oder Eisen bestehender Körper mittels eines organischen Binders mit einem Mischkristalle oder intermetallische Phasen bildenden Metallpulver beschichtet,

15

20

anschließend der offenporige Körper aus Nickel oder Eisen unter Einhaltung von Mindestbiegeradien in die gewünschte Form gebracht,

25

nachfolgend in einem ersten Wärmebehandlungsschritt die organischen Bestandteile entfernt und

30

mit einer zweiten Wärmebehandlung bei gegenüber der ersten Wärmebehandlung der offenporige Formkörper gesintert und das Mischkristall oder die intermetallische Phase ausgebildet werden.

35

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass auf die Oberfläche des offenporigen Körpers aus Nickel oder Eisen der organische Binder und nachfolgend das jeweilige Metallpul-

ver aufgebracht und erst dann die Formgebung durchgeführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass reines Aluminiumpulver, zusätzliche metallische Elemente enthaltendes oder vorlegiertes Aluminiumpulver aufgebracht wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der mit Binder und Metallpulver beschichtete Körper aus Nickel oder Eisen zu einem Hohlzylinder verformt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens zwei solcher Hohlzylinder mit jeweils angepassten Außen- und Innendurchmessern zusammengefügt werden.
- 15 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der mit Binder und Metall beschichtete Körper aus Nickel oder Eisen in mehreren Lagen spiralförmig um eine Längsachse in gewickelter Form verformt wird.
- (20 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der/die verformte(n) beschichtete(n) Körper aus Nickel oder Eisen von einem eine äußere Mantelfläche bildenden Zylinder umschlossen wird/werden.
- 25 8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die äußere Mantelfläche des Zylinders perforiert wird.
9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass ein Zylinder aus einem Metall oder einer Keramik verwendet wird.

10. Verfahren nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet, dass zwischen spiralför-
mig gewickelten Lagen eine ebenfalls spiralför-
mig gewickelte Folie eingewickelt wird.
- 5 11. Verfahren nach Anspruch 10,
dadurch gekennzeichnet, dass eine perforierte
Folie verwendet wird.
- 10 12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11,
dadurch gekennzeichnet, dass eine Folie aus ei-
nem Metall oder einer Keramik verwendet wird.
- 15 13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprü-
che, dadurch gekennzeichnet, dass der organische
Binder mit einer geringen Viskosität durch Tau-
chen und/oder Besprühen so auf die Oberfläche
des offenporigen Körpers aufgebracht wird, dass
die offene Porenstruktur beibehalten und ledig-
lich die Stege der Poren beschichtet werden.
- 20 14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeich-
net, dass überschüssiger Binder durch Zusam-
mepressen, Durchblasen und/oder Absaugen aus dem
Körper aus Nickel oder Eisen entfernt wird.
- 25 15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprü-
che, dadurch gekennzeichnet, dass bei und/oder
nach dem Auftrag des Metallpulvers der Körper
aus Nickel oder Eisen in Schwingung versetzt
wird.
- 30 16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprü-
che, dadurch gekennzeichnet, dass ein offenpori-
ger Körper aus Nickel oder Eisen eingesetzt
wird, der in einer Bezugsebene vor der Beschich-
tung und Formgebung eine maximale Dicke von 100
mm aufweist.

17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass beim ersten Wärmebehandlungsschritt eine Mindesttemperatur von 250 °C erreicht und diese über einen Zeitraum von mindestens 15 min eingehalten wird.
18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei der zweiten Wärmebehandlung eine Mindesttemperatur von 600 °C über einen Zeitraum von mindestens 15 min gehalten wird.
19. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass dem jeweiligen Metallpulver zusätzlich mindestens ein weiteres Metall in Pulverform zugegeben wird.
20. Offenporiger Formkörper hergestellt mit einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass er aus Nickel oder Eisen und einem Metall in Form von Mischkristall oder als intermetallische Phase gebildet oder die Oberfläche aus diesen Mischkristallen bzw. der intermetallischen Phase als solche Schicht gebildet und der Formkörper unter Einhaltung von Mindestbiegeradien zumindest gekrümmte Bereiche aufweist.
21. Formkörper nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass er aus mindestens einem durch nachfolgende Formgebung erhaltenen im Wesentlichen plattenförmigen offenporigen Körper aus Nickel oder Eisen gebildet worden ist.
22. Formkörper nach Anspruch 20 oder 21, dadurch gekennzeichnet, dass er in Form eines Hohlzylinders ausgebildet ist.

- 8
23. Formkörper nach Anspruch 22,
dadurch gekennzeichnet, dass mindestens zwei in-
einander gesteckte Hohlzylinder den Formkörper
bilden.
- 5
24. Formkörper nach Anspruch 20 oder 21,
dadurch gekennzeichnet, dass er eine um eine
Längsachse ausgebildete Spiralform aufweist.
- 10
25. Formkörper nach einem der Ansprüche 20 bis 24,
dadurch gekennzeichnet, dass sich die Porosität
ausgehend von der innen liegenden Längsachse ra-
dial nach außen stufenweise oder in gradierter
Form verändert.
- 15
26. Formkörper nach einem der Ansprüche 20 bis 25,
dadurch gekennzeichnet, dass er aus Nickelalumi-
nid oder Eisenaluminid gebildet oder damit an
seinen Oberflächen beschichtet ist.
- (20
27. Formkörper nach einem der Ansprüche 20 bis 26,
dadurch gekennzeichnet, dass eine Mindestporosi-
tät von 85 % erreicht ist.
28. Formkörper nach einem der Ansprüche 20 bis 27,
dadurch gekennzeichnet, dass ein zumindest eine
äußere Mantelfläche bildender Zylinder, den of-
fenporigen Formkörper einfasst.
- 25
29. Formkörper nach Anspruch 28,
dadurch gekennzeichnet, dass der Zylinder perfo-
riert ist.
- 30
30. Formkörper nach Anspruch 28 oder 29,
dadurch gekennzeichnet, dass der Zylinder aus
einem Metall oder einer Keramik gebildet ist.
- 30
31. Formkörper nach einem der Ansprüche 20 bis 30,
dadurch gekennzeichnet, dass zwischen Lagen ei-

nes spiralförmig gewickelten offenporigen Formkörpers eine trennende Folie angeordnet ist.

32. Formkörper nach einem der Ansprüche 20 bis 31, dadurch gekennzeichnet, dass die Folie aus einem Metall oder einer Keramik gebildet ist.
33. Formkörper nach einem der Ansprüche 20 bis 32, dadurch gekennzeichnet, dass die Folie perforiert ist.
34. Verwendung eines Formkörpers nach einem der Ansprüche 20 bis 33, als Partikelfilter.

FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT
03F42604-EPW

Verfahren zur Herstellung eines offenporigen Formkörpers ein solcher Formkörper sowie dessen Verwendung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines offenporigen Formkörpers, der aus Nickel oder Eisen und mindestens einem weiteren Element, die Mischkristalle oder intermetallische Phasen bilden, gebildet ist oder auf dessen Oberfläche solche Mischkristalle oder intermetallische Phasen ausgebildet sind. Insbesondere wegen der thermischen Eigenschaften solcher mit Nickel gebildeten Mischkristalle oder intermetallischen Phasen sind die erfindungsgemäßen offenporigen Formkörper auch im Hochtemperaturbereich zumindest jenseits von 700 °C thermisch stabil und können dort problemlos eingesetzt werden. So können die erfindungsgemäßen Formkörper als Partikelfilter auch für Abgassysteme eingesetzt werden. Hierbei wirkt sich außerdem vorteilhaft die gute Wärmeleitfähigkeit und in bestimmten Fällen auch die elektrische Leitfähigkeit vorteilhaft aus.

So können beispielsweise in einem solchen Partikel-
filter enthaltene organische Partikel durch thermi-
sche Regenerationsverfahren in gasförmige Komponenten
umgewandelt und aus einem solchen Partikelfilter ent-
fernt werden. Die hierfür in der Regel erforderliche
Temperaturerhöhung ist für den eingesetzten Werkstoff
unschädlich. Eine solche Temperaturerhöhung kann aber
auch durch elektrische Widerstandsbeheizung eines so
ausgebildeten Partikelfilters erreicht werden.

Offenporige Nickelformkörper gehören zum Stand der
Technik und sind beispielsweise von der Firma INCO
als Handelsprodukt mit unterschiedlichen Porositäten
und unterschiedlicher Porenzahl erhältlich.

Die bisher verfügbaren Schaumstrukturen sind aber auf
bestimmte geometrische Gestaltungsformen begrenzt und
insbesondere solche Geometrien, die um zumindest eine
Achse sphärisch gekrümmmt sind, wenn überhaupt nur im
begrenzten Umfang verfügbar.

Problematisch ist es außerdem, wenn bei einer Weiter-
verarbeitung einer solchen offenporigen Schaumstruktur
aus Nickel oder Eisen eine Ausbildung von Misch-
kristallen oder intermetallischen Phasen mit jeweils
anderen hierfür geeigneten Metallen erfolgen soll.

Dabei wird üblicherweise so vorgegangen, dass das je-
weilige zusätzliche Metall in Pulverform mit einem
organischen Binder auf die Oberfläche der offenpori-
gen Schaumstruktur aufgebracht wird. Im Anschluss
wird durch entsprechende Wärmebehandlung der organi-
sche Bestandteil an Binder ausgetrieben und in einem
zweiten Schritt bei erhöhten Temperaturen in einem
der Sinterung sehr ähnlichem Prozess die Ausbildung

von intermetallischen Phasen und Mischkristallen erreicht.

Es liegt auf der Hand, dass insbesondere beim Auftrag des jeweiligen Metallpulvers mit dem organischen Binder Grenzen gesetzt sind, da es nicht ohne weiteres möglich ist, großvolumige offenporige Körper möglichst gleichmäßig mit einer solchen Beschichtung, bestehend aus Binder und Metallpulver zu versehen.

Ganz besonders problematisch ist es, wenn solche offenporigen Körper auch dreidimensional gestaltet sind und Oberflächenbereiche, die für eine Beschichtung nicht oder nur schwer zugänglich sind, aufweisen.

Diese Probleme können aber auch bei der in DE 37 29 126 A1 beschriebenen Lösung nicht gelöst werden.

Dort soll auf einen Metallschaumkörper in ähnlicher Form beispielsweise eine Eisen-Chrom-Aluminium Legierung aufgetragen werden und darauf wiederum eine katalytisch wirksame Metalloxidschicht ausgebildet werden.

In dieser Veröffentlichung wird der einzusetzende Metallschaumkörper nicht weiter spezifiziert und soll lediglich den eigentlichen Träger für das nachfolgend aufzubringende Schichtsystem bilden.

Die dort vorgeschlagene Eisen-Chrom-Aluminium Legierung weist bezüglich ihrer zumindest bezüglich ihrer thermischen Eigenschaften Nachteile auf. Des Weiteren kann eine solche Legierungsschicht nicht ohne weiteres auf die unterschiedlichen Schaumkörper bildenden Metalle mit ausreichender dauerhafter Haftfestigkeit aufgebracht werden.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung Möglichkeiten vorzuschlagen, wie offenporige Formkörper, mit unterschiedlicher geometrischer Gestalt zur Verfügung gestellt werden können, die sowohl thermisch, wie auch mechanisch beständig sind.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe mit einem Verfahren, das die Merkmale des Patentanspruchs 1 aufweist, gelöst. Entsprechende offenporige Formkörper sind mit dem Patentanspruch 20 definiert und eine vorteilhafte Verwendung ergibt sich entsprechend Patentanspruch 34.

Vorteilhafte Ausgestaltungsformen und Weiterbildungen der Erfindung können mit den in den jeweils untergeordneten Ansprüchen bezeichneten Merkmalen erreicht werden.

Bei der Herstellung erfindungsgemäßer offenporiger Formkörper wird so vorgegangen, dass ein offenporiger aus Nickel oder Eisen bestehender Körper, wie er handelsüblich erhältlich ist, an seiner Oberfläche, also auch an der Oberfläche der innen liegenden offenen Poren mit einem organischen Binder und zusätzlich mit einem Pulver eines Metalls, das mit dem Nickel oder Eisen des offenporigen Körpers Mischkristalle oder intermetallische Phasen bilden kann, beschichtet wird.

Nachfolgend an diese Beschichtung des offenporigen Körpers wird eine Formgebung des so vorbehandelten Körpers durchgeführt. Bei dieser Formgebung müssen bestimmte Mindestbiegeradien eingehalten werden, um einen Bruch des offenporigen Körpers zu vermeiden. Die Mindestbiegradien werden im Wesentlichen durch

die Porosität des Körpers sowie der jeweiligen Dicke im Biegeradiusbereich bestimmt.

Eine so vorbehandelte offenporige Struktur, die aus dem beschichteten offenporigen Körper gebildet ist, kann noch gut verformt werden, um die gewünschte Gestalt eines erfindungsgemäßen Formkörpers auszubilden. Eine Verformung ist aber nach Ausbildung von Mischkristallen oder intermetallischen Phasen, wegen deren Sprödheit, ohne Zerstörung nicht mehr möglich.

Nach dieser Formgebung wird eine zweistufige Wärmebehandlung durchgeführt. Dabei wird die vorgegebene Form der Formkörper beibehalten und das Volumen, wenn überhaupt nur unwesentlich verändert, wobei es dann ggf. zu einer Vergrößerung des Volumens kommen kann, was sich aber vorteilhaft ausnutzen lassen kann.

Dabei werden bei einer ersten Wärmebehandlung die organischen Bestandteile, die im Wesentlichen die Binderbestandteile sind, ausgetrieben und in einer nachfolgend durchzuführenden zweiten Wärmebehandlung eine Sinterung mit gleichzeitiger Ausbildung der jeweiligen Mischkristalle oder intermetallischen Phase durchgeführt.

Im Anschluss an diese zweite Wärmebehandlung ist der erfindungsgemäße Formkörper in der Regel fertig gestellt.

Es können aber auch weitere zusätzliche Verfahrensschritte durchgeführt werden um gegebenenfalls gewünschte Oberflächenmodifizierung des bereits vorab hergestellten offenporigen Formkörpers erreichen zu können.

Vorteilhaft ist es, den Auftrag des organischen Binders und den Auftrag des jeweils zusätzlich erforderlichen Metallpulvers voneinander zu trennen.

5 So kann der Auftrag des organischen Binders auf die Oberfläche des offenporigen Körpers aus Nickel oder Eisen beispielsweise durch Tauchen und/oder Besprühen vorgenommen werden.

10 Hierzu sollte der jeweilige organische Binder entweder bereits allein eine ausreichend niedrige Viskosität aufweisen oder in einer bevorzugt wässrigen Lösung mit entsprechend geringer Viskosität eingesetzt werden.

15 20 Beim Auftrag des Binders auf die Oberfläche des offenporigen Körpers aus Nickel oder Eisen sollte beachtet werden, dass lediglich die jeweilige Oberfläche beschichtet ist und die offenporige Struktur beibehalten wird.

Dies kann beispielsweise durch Pressen und/oder Absaugen des überflüssigen Binders erreicht werden.

Ein mit einer Binderbeschichtung versehener offenporiger Körper kann dann mit dem jeweiligen Metallpulver beschichtet werden, wobei dieser Pulverbeschichtungsvorgang möglichst unterstützt werden sollte, um eine gleichmäßige Beschichtung der Oberfläche des offenporigen Körpers auch in dessen innen liegenden Volumenbereichen zu gewährleisten. Dies kann beispielsweise durch das in Schwingung versetzen des offenporigen Körpers beim oder nachfolgend an die Beschichtung mit dem jeweiligen Metallpulver erreicht werden. Hierfür können bevorzugt hochfrequente Schwingungen mit geringer Amplitude wirken.

Besonders vorteilhaft ist der Einsatz von Aluminium-
5 pulver, da das nach der zweiten Wärmebehandlung ge-
bildete Nickelaluminid oder Eisenaluminid eine hohe
thermische und mechanische Stabilität erreicht sowie
elektrisch leitend und korrosionsbeständig ist.

In jedem Falle können dem das jeweilige Mischkristall
10 oder die jeweilige intermetallische Phase bildenden
Metallpulver weitere Metalle in Pulverform zugegeben
werden, um die gewünschten Eigenschaften weiter vor-
teilhaft beeinflussen zu können. Zusätzliche Metalle
werden aber mit entsprechend reduzierten Anteilen
15 eingesetzt. So können einem Metallpulver, z.B. Alumi-
numpulver geringe Mengen weiterer Elemente in Pul-
verform zugegeben oder vorlegiertes Pulver eingesetzt
werden. Dadurch kann die Korrosionsbeständigkeit der
erfindungsgemäßen Formkörper, beispielsweise mit
20 Chrom erhöht werden. Andere Eigenschaften können bei-
spielsweise mit Bor oder Tantal vorteilhaft beein-
flusst werden.

Die bereits angesprochene Formgebung des mit Binder
und Metallpulver vorbehandelten offenporigen Körpers
aus Nickel oder Eisen kann so erfolgen, dass aus ei-
nem bevorzugt plattenförmigen offenporigen Körper ein
Hohlzylinder vorgeformt und nachfolgend an die be-
reits erwähnten zwei Wärmebehandlungsstufen ein hohl-
zylinderförmiger erfindungsgemäßer Körper hergestellt
30 werden kann. Dabei kann die Formgebung unter Zuhilfe-
nahme eines entsprechend ausgebildeten Wickeldornes
unterstützt werden.

Diesen Gedanken aufgreifend, besteht dann die Mög-
35 lichkeit mehrere solcher Formkörper mit entsprechen-
den Innen- und Außendurchmessern in Hohlzylinderform

herzustellen, diese ineinander zu fügen, so dass ein quasi mehrschaliger Aufbau erreichbar ist.

Ein oder mehrere solcher so vorbereiteter Formkörper,
die noch keiner Wärmebehandlung unterzogen worden
sind, können in einen zusätzlichen zylinderförmigen
Körper, der dann zumindest die äußere Mantelfläche
eines fertigen erfindungsgemäßen Formkörpers bilden
kann, eingesetzt werden. Die Wärmebehandlung kann
dann in diesem Zylinder durchgeführt werden. Der Zy-
linder bildet dann bei der Wärmebehandlung auch die
Form und kann gleichzeitig die Funktion eines Form-
werkzeuges erfüllen.

Der hierfür eingesetzte Zylinder kann als Hohlzylin-
der mit sich gegenüberliegenden offenen Stirnflächen
ausgebildet sein.

Insbesondere für die Entfernung der organischen Bin-
derbestandteile und gegebenenfalls auch für die
letztendliche Anwendung des erfindungsgemäßen Form-
körpers ist es vorteilhaft, zumindest in der äußeren
Mantelfläche eines solchen Zylinders Perforationen,
also entsprechend in der Mantelfläche ausgebildete
Durchbrechungen vorzusehen.

Für den Zylinder können die unterschiedlichsten Werk-
stoffe eingesetzt werden. So sind unterschiedliche
Metalle, insbesondere solche, mit denen eine stoff-
schlüssige Verbindung mit den gebildeten Mischkris-
tallen oder intermetallischen Phasen erreichbar sind,
geeignet.

In bestimmten Fällen können aber auch Keramiken, als
Zylinderwerkstoff geeignet sein. Ein Beispiel hierfür
wäre Aluminiumoxid.

5 Eine solche Ausbildung mit einem eine äußere Mantelfläche des erfindungsgemäßen Formkörpers bildenden Zylinder ist aber auch mit einer nachfolgend zu beschreibenden Ausführungsform einsetzbar.

10 Die Formgebung kann aber auch in der Form erfolgen, dass ein plattenförmiges Ausgangsprodukt als offenporiger Körper mehrfach in Spiralenform um eine durchgehende Längsachse gewickelt wird. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit einen vollzylindrischen erfindungsgemäßen Formkörper mit einem bis auf die Poren von Hohlräumen freien Körper herzustellen.

15 Bei einer solchen Ausführungsform besteht zusätzlich die Möglichkeit, zwischen den einzelnen spiralförmig gewickelten Lagen der offenporigen Struktur eine flexible Folie zu legen, die bei dieser Art der Formgebung mit eingewickelt wird und die einzelnen Lagen mit einer solchen Folie voneinander getrennt werden können.

20 Eine solche Folie kann ebenfalls aus einem Metall oder einer Keramik gebildet sein. Im Falle von Keramikfolien sollten diese eine eine solche Verformung zulassende Grünfestigkeit aufweisen.

25 Auch die Spiralform zwischen den einzelnen Lagen angeordnete Folie kann perforiert sein und dementsprechend Durchbrechungen aufweisen. Dabei sollte die Durchlässigkeit der Folie für die verschiedenen Fluide geringer sein, als dies mit der offenporigen Struktur der Fall ist.

30 35 Die für die letztendliche Herstellung der erfindungsgemäßen offenporigen Formkörper einzusetzenden offen-

5 porigen Körper sollten in einer Bezugsebene eine maximale Dicke von 100 mm, bevorzugt 60 mm nicht überschreiten, um zu erreichen, dass eine zumindest nahezu gleichmäßige Oberflächenbeschichtung mit organischem Binder und Metallpulver über das gesamte Volumen erreicht werden kann.

10 Dabei ist es nicht zwingend, dass ein Ausgangskörper, als offenporige Struktur eine konstante Dicke in der jeweiligen Bezugsebene aufweist. Dementsprechend sind auch offenporige Körper in Keilform oder mit kontinuierlich ansteigender Dicke in einer Achsrichtung einsetzbar.

15 Insbesondere in dem bereits angesprochenen Fall, dass ein erfindungsgemäßer Formkörper aus mehreren Hohlzylindern gebildet worden ist, kann in vorteilhafter Weise ein offenporiger Formkörper hergestellt werden, der ausgehend von einer zentralen innen liegenden Längsachse radial nach außen unterschiedliche Porenstrukturen mit unterschiedlichen Porositäten und/oder Porengrößen aufweist. Dies kann beispielsweise von Hohlzylinder zu Hohlzylinder variieren.

20 Es besteht aber auch die Möglichkeit eine nahezu kontinuierliche Gradierung zu erreichen, wobei in diesem Fall eine gezielte Auswahl der Dicke des offenporigen Körpers aus Nickel oder Eisen und die jeweils aufgebrachte Menge an Metallpulver und/oder organischem Binder auf die Oberfläche der offenporigen Struktur geeignete Parameter für eine solche Ausbildung eines erfindungsgemäßen Formkörpers sind. Die erfindungsgemäß herstellten offenporigen Formkörper erreichen eine Mindestporosität von 85%, wobei aber auch Porositäten oberhalb 90 oder auch oberhalb 95% erreicht werden können.

Die Porengröße und die Porenanzahl kann im Wesentlichen durch die Auswahl des für die Herstellung eingesetzten offenporigen Körpers vorbestimmt werden. Dabei wird mit dem erfindungsgemäßen Vorgehen, also der Ausbildung von Mischkristallen oder intermetallischen Phasen nur ein geringer Einfluss auf die jeweiligen Porengrößen und Porositäten genommen.

Nachfolgend soll die Erfindung beispielhaft näher erläutert werden.

Für die erfindungsgemäße Herstellung eines offenporigen Formkörpers wurde ein offenporiger Körper aus Nickel mit einer Porosität um 94% eingesetzt. Dieser Körper hatte die Abmessungen 300 mm x 150 mm und eine Dicke von 1,5 mm.

Als Binder wurde Polyvinylpyrrolidon eingesetzt. Dabei wurde eine 1%-ige wässrige Lösung vorbereitet und der offenporige Körper aus Nickel in 50 ml dieser den organischen Binder enthaltenden niedrigviskosen Lösung getaucht und anschließend auf eine saugfähige Unterlage gepresst, so dass der Binder aus den Poren des offenporigen Körpers auch Nickel entfernt werden konnte und lediglich dessen Stege mit dem Binder benetzt blieben.

Als Metallpulver wurde Aluminiumpulver mit einer Masse von 2g mit einer flittrigen Partikelform und 8g kugelförmiges Aluminiumpulver eingesetzt und über einen Zeitraum von 10 min in einem Rührwerk trocken vermischt.

Dieses Aluminiumpulver wurde von mindestens zwei Seiten auf den mit dem Binder beschichteten offenporigen

5 Körper aus Nickel aufgetragen, wobei der Auftrag in einer Vibrationseinrichtung, an der der offenporige Körper aus Nickel fixiert wurde, erfolgte. So konnte eine nahezu gleichmäßige Oberflächenbeschichtung, auch innerhalb der Poren des offenporigen Körpers aus Nickel erreicht werden.

10 Der so vorbereitete offenporige Körper aus Nickel mit der Binder- und Aluminiumpulverbeschichtung wurde in Spiralförm zu einem zylinderförmigen Körper gerollt, wobei die Haftung des Binders auch die Haftung der Aluminiumpulverpartikel auf der Nickeloberfläche gewährleistet.

15 Im Anschluss an diese Formgebung erfolgte in einem Ofen, die bereits angesprochene erste Wärmebehandlungsstufe in einer Stickstoffatmosphäre. Bei dieser ersten Wärmebehandlungsstufe sollte eine Mindesttemperatur von 250 °C über einen Zeitraum von mindestens 15 min gehalten werden, um die organischen Bestandteile entfernen zu können.

20 Bei dem Beispiel erfolgte die erste Wärmebehandlungsstufe mit einer Aufheizrate von 5 K/min auf eine Temperatur von 300 °C, die sukzessive auf 600 °C erhöht wurde. In diesem Temperaturfenster wurde eine Haltezeit von ca. 30 min berücksichtigt.

30 Nachfolgend wurde die zweite Wärmebehandlungsstufe durchgeführt, bei der eine Mindesttemperatur von 600 °C, bevorzugt von mindestens 650 °C über einen Zeitraum von mindestens 15 min eingehalten werden sollte.

35 Beim konkreten Beispiel wurde diese Wärmebehandlungsstufe im Temperaturbereich zwischen 900 °C bis

1000 °C über einen Zeitraum von 30 min durchgeführt.

5 Damit wird deutlich, dass die Ausbildung des Nickelaluminides bereits bei Temperaturen erreicht werden kann, die deutlich unterhalb der Schmelztemperatur von Nickel liegt.

10 Im Anschluss an die zweite Sinterwärmebehandlungsstufe bestand der so hergestellte 300 mm lange Formkörper vollständig aus Nickelaluminid. Seine Porosität erreichte 91%. Ein so hergestellter Formkörper ist an Luft bei Temperaturen bis zu 1050 °C auch Oxidationsbeständig. Neben dieser thermischen Stabilität erreicht er auch eine ausreichende mechanische Festigkeit, die ihn auch für einen mobilen Einsatz als Partikelfilter einsetzbar macht.

15 In analoger Form kann auch ein offenporiger Körper aus Eisen eingesetzt werden, bei dem mit Aluminium Eisenaluminid gebildet wird. Hierbei sollten lediglich die Temperaturen bei der zweiten Wärmebehandlungsstufe angepasst werden.